二次元層流噴流の安定性(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

山邊, 春雄

【212】

氏名	山邊春雄（やまべ はるお）
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第333号
学位授与の日付	昭和45年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	**二次元層流噴流の安定性**
論文調査委員	（主査）教授 山田彦児　教授 玉田 珖　教授 桜井健郎

論文内容の要旨

近時噴流の工学的利用が活発化する傾向にあること周知の如くであるが，噴流のもつ特性とくに最も必要なそれの安定性の理論的理解に関しては，従来費されたかなりの努力にもかかわらず，多くが不明のまま残されている。本論文はこの欠陥を埋めるべく，内容を二次元層流噴流に限定して線形安定理論による解析を広くおし進めたものであって，9章からなっている。

第1，第2，第3章は2次元噴流の安定論について現在までの理論的展開の概観と，以下の諸章において取扱うべき基礎の概念と方程式とを，擾乱の流れ函数の振巾 ϕ (y)（yは流れに直角方向）を支配する Orr-Sommerfeld 方程式を中心として，簡潔に誘導乃至説明したものである。

第4章は噴流の流速分布を矩形近似する場合について，この簡単化された近似計算の結果が正確な理論と定性的に一致するという経験上の見地から，本論文におい取上げるべき諸問題（以下順次に述べる）をこれの考察から摘出するとともに，まず第1の問題として，噴流に対する側壁の安定化効果の計算にこの矩形近似が充分によい近似であることを確かめた後に，安定不安定の境界を与える，いわゆる中立曲線R (α)，C (α)（Rは Rey-nolds 数，α は中立波の波数，Cはその波速）を計算している。中性曲線が複雑なために数値計算にはかなりの配慮が必要であるが，信頼出来るグラフと数値を与えている。

第5章はO－S式（Orr-Sommerfeld 方程式）の境界値問題を解くために採られた従来の解析的方法を説明し，その框内に残された次の問題を取上げる，R→∞において4階の－OS式は2階の Rayleigh 方程式（Ray 式）に転化し，Ray 式は $\alpha=0$ の点にC＝0，ϕ＝W (y)（Wは噴流の速度）という中立安定波をもっているから，問題はこの中立点に連なる中立曲線をO－S式の解の中に見付けることである。この問題の数学的困難点は流速分布の裾が無限遠方に及ぶことに原因するから，ここでは噴流を有限巾とし，滑らに静止流体に連なる速度分布を採用することによって考察を単純化した。適当な基本解4ケを組合わせて，その固有値Cを α→O で C→Oとならしめうるか否かを，$C\sqrt{\alpha R}$→定数，→O，→±∞の場合を通じて研究した結果，それが不可能であること，すなわち α＝C＝O，ϕ＝w (y) に連結する中性曲線

は存在しないことを確かめた。

第6章は積分方程式化とそれの利用である。O－S式固有値問題の解は一般に困難であるために幾つかの差分法，変分法による近似が提案されている。ここではそれらの代表的なものの得失を示した後，問題を積分方程式に変換すること，更にそれを Galerkin 法を用いて数値的に取扱う方策を提出する。一様流におけるO―S式の基本解を基礎として定数変化法によって一般流速分布の際の解を構成，境界条件を導入すれば求める積分方程式であって，核表式が若干長い表現をもつけれども，数値計算の不便はない。噴流の中心部分の両側に静止流体を仮定する場合には，積分方程式はこの中心部分のみを定義域とするように書き下される。

同様にして Ray 方程式を積分方程式化するとき，O―Sの解 ϕ が $R\to\infty$ において Ray 式の解に一致するためには流速分布 w (y) の滑らかさに対して何が要求されるかという，近似的取扱いに対して重要な問題の解答の道が得られる。不連続速度分布に対して不一致の起ることは第4章で判明しているから，ここでは連続で傾度が有限の飛びをもつ場合を吟味する。このときO―Sでの表式中 $R\to\infty$ でゼロとなるものを捨去れば丁度 Ray での表式が見出されるのであって，これは有益な結論である。

次に安定性の計算に移り，噴流速度は $-\pi\leq y\leq\pi$ にのみ有るとしてそれを余弦函数で書く。解 ϕ として Fourier 余弦級数の表現を用い，積分方程式に代入した結果の表式が，完備系をなす余弦函数系に直交することを要求する (Galerkin 法)。これによって Fourier 展開係数と固有値が定められる。実算に際しては7項近似を用い，矩形近似からの知識を援用して中立曲線上の諸点が求められた。その結果は現在よく知られている第1分枝を確かめると共に近似法の信頼性を証明したので，同じ方法を用いて未開拓の第2分枝が研究せられた。計算は決して容易ではないが，それは問題自身のむづかしさの現れであって止むをえない。見出された結果は決定的に第2分枝の存在を示し，それが第1の不安定域に重なる第2の不安定域を与えること，前者の波が前進性（噴流速度の方向に進む）であるに反して後者の波が後退性であること，が示された。この後退性不安定域の存在は，実験と理論の一致についての現在の不明瞭さを解消するために重要な要素であることが期待せられる。

第7章は壁に沿う噴流 Wall jet の安定性である。この噴流は自由噴流と境界層流との二重性格をもつ点で理論的に特異であると共に，Coanda 効果等の実際問題との対応の上からも重要である。現在までのところ中立曲線が一部分見出されていたものを，R数の全体に亘って完成して定性的な概観が与えられることとなったが，これは中立曲線の一分枝に過ぎず，Tollmien-Schlichting 波に相当する分枝など重要な研究課題が将来に残されているようである。

第8章は噴流安定論を後流に適用して物体後端の bluffness に対して尺度を提案したものである。元来2次元物体直後の後流は物体の両側面の各々から流れ出る二渦動層から成っており，その全体としての安定性は次の如くである。二つの渦動層が遠く（渦動層厚さを基準として）離れ，夫々に生ずる不安定波が互に独立であるときの安定性は確かに単一渦動層のそれと同一であるに反し，平面板の両側からの渦動層の如く，両層が合して完全な噴流（の裏返し）を形成するときはこの噴流の安定性がそのまま成立する。一般の後流はこの中間にあって，渦動層間距離の大小によって中性曲線が，単一層のものから真正噴流のものにまで変化する。本論文におけるかなりの計算量の後に得られた結論によれば，層間距離が略々2を

境として独立から干渉に転化するのが見られ，従ってこの値を目安として物体後端の bluffness を区分することを提案しているのである。

最後の第9章はまとめであって，今後の問題点にも言及している。尚本論文中の所々において数値計算の技巧が工夫乃至改良されていて，それらによって計算が成就出来た場合が多い。

論文審査の結果の要旨

噴流の工学的利用は次第に盛になって来ているが，それらの特性中で特に必要な安定性の考察は，理論的取扱いの困難なために不明のところが多い現状である。本論文はこの点を改良すべく，内容を二次元の層流噴流に限定して線形安定の範囲内で詳細な研究を進めたものであって，新しく得られた知見は略々次の6項目に要約せられる。

(1) 噴流の安定性に及ぶ平行壁の影響を見るには，噴流の速度分布を矩形分布とする近似が許され，これによって問題が計算可能となることを示した後，くわしい計算を行なって信頼出来る数値とグラフを与えた。

(2) Reynolds 数無限大の極限すなわち完全流体方程式において見られる中立安定点の一つが有限 Reynolds 数の場合との結付き不明のまま残されているものを，その点が完全流体にのみ現われる弧立点であって現実との対応を持たないことを理論的に確かめた。

(3) 安定性の計算を簡単化するには噴流速度分布を単純化する以外に方法がないが，この単純化が限度を越すと実用性を失うに至る。この限度として有限 Reynolds 数での事情が完全流体の解に連続的に結合すべき条件を採るとき，許される単純化は有限の傾度の飛びをもつ連続な速度分布であることを証明した。

(4) 自由噴流安定性の実際計算に移り，基本方程式を積分方程式に転化してそれに Galerkin 法を適用して数値解を求める，という一般的な近似法を設定し，これを用いて本来の不安定域を確かめると共に方法の正当性を検証した後，現在不明だった第2の不安定域を確定してそれが既知の不安定域の中に存在すること，そのときの不安定波は先のそれとは逆方向に伝播するものであること，等を示した。この第2の不安定域の存在は実験と理論の対応についての現在の不明確性を取除くために重要な役目を担うものと期待される。

(5) 壁に沿う噴流の安定性は Coanda 効果等との関連において重要であると共に，この噴流が自由流と境界層流の二重性格をもつために理論的にも興味のある問題である。本論文においては自由流特性に相当する不安定域が Reynolds 数の全域に追跡されて不備な現在の知識を補ったのであるけれども，ここには更に多くの問題が残されている。

(6) 最後に頭の平たい噴流が取扱われた。二つの渦動層が一様流を介して対称的に存在する場合であって，流体中を進む物体直後の後流の模形である。一様流の巾（渦動層厚さを単位として）によって独立な二つの渦動層から平板の後流にまで変化し，巾が約2より小さいときに安定性の相互干渉が見られる事が示された。この値は物体後端の bluffness の目安として利用しうることが示唆されている。

以上の如く本論文は噴流の安定性における不明確な諸問題に光をあて，解析的に又数値的に解明を加え

ることによって噴流利用の基礎知識を集積すると共に，今後の研究に幾つかの指針を与えたものであって，学術上，工業上貢献するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認めた。